

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 377, d. d. 31 januari 1967

De pompproeven M168 en M174, gelegen  
ten zuid-oosten van Zelhem

J. J. de Vries

---

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiedelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Aan gebruikers buiten het Instituut wordt verzocht ze niet in publikaties te vermelden.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

---

- 1 -

## Inleiding

Op 26 en 27 september respectievelijk 3 en 4 oktober 1966 zijn ten zuidoosten van Zelhem, door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, in samenwerking met de Provinciale Waterstaat van de provincie Gelderland, 2 pompproeven uitgevoerd te weten M168 en M174.

Hiertoe werden de boringen M217, M168/25 m, M168/75 m, respectievelijk M218, M174/22 m, M174/66 m gezet.

M168/25 m, M168/75 m en de bestaande exploratie-boring M168 werden ten behoeve van de gelijknamige pompproef afgewerkt als waarnemingsput, terwijl M217 voor deze proef als pompput werd ingericht. De waarnemingsputten zijn respectievelijk op 25 m, 75 m en 225 m van de pompput gelegen.

M174/22 m, M174/66 m en de exploratieboring M174 werden als waarnemingsput voor de pompproef M174 afgewerkt. Hierbij werd M218 als pompput ingericht.

De afstanden van de waarnemingsputten tot de pompput bedragen hier respectievelijk 22 m, 66 m en 198 m.

In beide gevallen werd als pompfilter een met glasvlies omwikkeld spleetfilter van P.V.C. gebruikt met een diameter van 3" (voor lokatie zie fig. 1).

## Hydro-geologische situatie

Figuur 2 toont de litho-stratigrafische toestand ter plaatse.

In beide profielen bevindt zich vanaf maaiveld tot ca. 8 m diepte een pakket matig- tot middel fijn zand, dat behoort tot het dekzand (zanddiluvium) daterend uit het Tubaoutien.

Daaronder volgt een 17 m dik pakket bestaande uit matig grof, enigszins grindhoudend zand, dat op grond van haar zware-mineraal inhoud tot de formatie van Kreftenheye wordt gerekend (jong-pleistoceen Rijn sediment).

De formatie van Kreftenheye gaat naar beneden toe over in het fluvioglaciaal, dat hier een dikte van 25 m bereikt en bestaat uit matig grove- tot middel grove-, vaak vrij sterk grindhoudende zanden.

Onder M174 wordt het fluvioglaciaal aan de onderzijde begrensd door de fijne slibhoudende zanden en kleiën van het plioceen, onder M168 echter bevindt zich tussen het fluvioglaciaal en het plioceen nog een laag van ongeveer 6 m middel grof zand van het oud-pleistoceen.

- 2 -

In figuur 2 is eveneens de ligging van de waarnemingsfilters aangegeven. Zoals hieruit blijkt is in elke boring zowel een diep als een ondiep waarnemingsfilter aangebracht.

#### Grondwaterstandswaarnemingen voor en na de pompproeven

Teneinde een indruk te verkrijgen van de beweging van de grondwaterspiegel onder invloed van het seizoen tijdens de pompproeven, zijn in de periode van 21 oktober tot en met 7 november grondwaterstandswaarnemingen gedaan in de waarnemingsputten M168, M174 en M152, welke laatste is gelegen op ongeveer 3 km van het onderzochte gebied. Deze waarnemingen zijn in de figuren 3 en 4 als tijd - stijghoogtelijnen van respectievelijk de diepe en ondiepe filters weergegeven.

Uit deze figuren blijkt dat in de periode dat de pompproef M168 werd uitgevoerd er een 'natuurlijke' drainage plaatshad die zich uitte in een grondwaterstandsval van ruim 4 cm/etmaal.

In de periode van 3 - 4 november, dus de periode waarin pompproef M174 plaatshad, bleek er een stijging van de grondwaterspiegel van bijna 2 cm/etmaal te zijn opgetreden, zonder dat er evenwel neerslag was gevallen.

De oorzaak van deze stijging moet waarschijnlijk gezocht worden in het feit dat in de voorafgaande nacht, bij ca. 5° vorst, de grondwaterspiegel was gedaald tengevolge van condensatie in de bovengrond.

#### Analyse van de bij de pompproeven verkregen gegevens

##### a. Pompproef M168

Van 26 oktober 9.20 uur tot 27 oktober 10.12 uur werd met een constant debiet van 750 m<sup>3</sup>/etmaal gepompt. De hierdoor optredende potentiaaldalingen zijn respectievelijk voor de diepe en de ondiepe filters weergegeven in de figuren 5 en 6 als tijd - potentiaalcurven. Deze curven zijn gecorrigeerd op de 'natuurlijke' grondwaterspiegeldaling die tijdens de proef optrad.

Aan het einde van de pompproef was ten naaste bij een evenwichtstoestand ingetreden. De hierbij behorende maximale potentiaaldalingen waren als volgt:

- 3 -

Maximaal potentiaaldalingen (gecorrigeerd)		
	diep	ondiep
M168/ 25 m	9,5 cm	4 cm
M168/ 75 m	5,5 cm	2,5 cm
M168/225 m	3,5 cm	2,8 cm

De verschillen in potentiaaldaling tussen de diepe en de ondiepe filters, alsmede het feit dat het potentiaalveld geen logarithmisch verloop vertoont, duiden erop dat het diepe grondwater zich als semi-spanningswater gedraagt.

Voor dit stationaire stromingsgeval kan de formule van De Glee worden toegepast:

$$h_m = \frac{Q}{2\pi kD} K_0 \frac{r}{\sqrt{kD \cdot c}}$$

hierin is:

$h_m$	de maximale potentiaaldaling in de waarnemingsfilters in m
$Q$	het debiet van de pompput in m <sup>3</sup> /dag
$kD$	de doorlatendheid in m <sup>2</sup> /dag
$r$	de afstand van pompput tot waarnemingsput in m
$c$	de verticale weerstand in dagen
$\lambda = \sqrt{kD \cdot c}$	de spreidingslengte
$K_0$	Besselse functie van de 2e soort, orde nul

De grafische oplossing van deze vergelijking is in figuur 7 weergegeven. Hierbij zijn de maximale dalingen in de peilfilters uitgezot tegen de afstand tot de pompput. De aldus verkregen spanningsverhanglijn is zoveel mogelijk passend gelegd op de zogenaamde typecurve van de functie  $K_0(x)$ .

De hierbij optredende verschuiving tussen de horizontale assen is gelijk aan

$$\frac{Q}{2\pi kD}$$

terwijl de verschuiving tussen de verticale assen gelijk is aan  $\lambda$ .

- 4 -

De uitkomsten voor pompproef M168 zijn:

$$\frac{Q}{2\pi kD} = 2,3 \cdot 10^{-2} \quad \rightarrow \quad \underline{kD = 5600 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

$$\lambda = \sqrt{kD \cdot c} = 9 \cdot 10^2 \quad \rightarrow \quad \underline{c = 160 \text{ dagen}}$$

#### Methode van Thiem

Aan het einde van de proef is praktisch gesproken, een evenwichtstoestand ingetreden. Verder hebben we te maken met een goed - horizontaal stromingsgeval tengevolge van de goede doorlatendheid van het watervoerend pakket,

Weliswaar is de pompput niet helemaal te beschouwen als een volkomen put, echter uit berekeningen met eerder uitgevoerde pompproeven in vergelijkbare gebieden (bv. pompproef M163, nota 360) is gebleken dat de optredende radiale weerstand een te verwaarlozen invloed op de potentiaaldaling heeft.

Met Thiem mogen we dus aannemen dat aan het einde van de proef de hoeveelheid water die naar de pompput stroomt evenredig is met de  $kD$ -waarde en de gradiënt van de potentiaal. Of in formule:

$$Q = 2\pi kD \frac{h_1 - h_2}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

waarin:

- $Q$  het debiet van de pompput in  $\text{m}^3/\text{dag}$
- $kD$  de doorlatendheid in  $\text{m}^2/\text{dag}$
- $h_1$  en  $h_2$  respectievelijk de maximaal potentiaaldalingen in de peilfilters gelegen op afstand  $r_1$  en  $r_2$  van de pompput.

Op het debiet moet echter een correctie toegepast worden in verband met het feit dat er water aan de bovengrond wordt onttrokken.

De potentiaaldaling in de ondiepe filters aan het einde van de proef bedraagt ongeveer 0,8 mm/uur of 2 cm/etmaal =  $Y$ .

-- 5 -

De hoeveelheid water die aan de bovengrond onttrokken wordt tussen M168/25 m en M168 is dan:

$$Q_1 = \mu \cdot Y \cdot \pi \left[ r_1^2 + \frac{1}{3} (r_2^2 - r_1^2) \right]^2$$

Stel de bergingscoëfficiënt  $\mu = 0,1$  dan is

$$Q_1 = 50 \text{ m}^3/\text{dag}$$

Dit bedrag moet in mindering worden gebracht op het debiet van de pompput. Deze hoeveelheid geldt evenzo voor de hoeveelheid water die aan de bovengrond wordt onttrokken tussen M168 en M168/75.

Voor M168/25 m en M168 levert de formule van Thiem een  $kD$ -waarde op van 4100 m<sup>2</sup>/dag

Voor M168/75 m en M168:  $kD = 3100 \text{ m}^2/\text{dag}$

Voor M168/75 m en M168/25 m :  $kD = 4100 \text{ m}^2/\text{dag}$

$kD$ -waarden gemiddeld:

Thiem	3800 m <sup>2</sup> /dag
De Glee	5200 m <sup>2</sup> /dag
Gemiddeld	4500 m <sup>2</sup> /dag

#### b. Pompproef M174

Van 3 november 10.10 uur tot 4 november 9.44 uur is met een constant debiet van 1050 m<sup>3</sup>/dag gepompt. De optredende potentiaaldalingen zijn voor de diepe- en de ondiepe filters weergegeven in de figuren 8 en 9. De maximale potentiaaldalingen aan het einde van de pompproef zijn als volgt:

- 6 -

	Maximale potentiaaldalingen	
	diep	ondiep
M174/22 m	12,5 cm	5 cm
M174/66 m	7 cm	5 cm
M174	3,5 cm	2 cm

De verschillen tussen de diepe- en de ondiepe filters zijn hier iets geringer dan bij pompproef M168, hetgeen te verklaren is uit de geringere dikte van de fijnzandige bovenlaag, zoals figuur 2 toont.

Beschouwen we het diepe grondwater als semi-spanningswater, dan kan weer de formule van De Glee worden toegepast. Op dezelfde manier als bij pompproef M168 is de grafische oplossing van deze formule uitgewerkt in figuur 7.

Dit levert op:

$$\frac{Q}{2\pi kD} = 4,4 \cdot 10^{-2} \quad \rightarrow \quad \underline{kD = 3800 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

$$\lambda = \sqrt{kD \cdot c} = 6 \cdot 10^2 \quad \rightarrow \quad \underline{c = 24 \text{ dagen}}$$

De verticale weerstand is dus klein. We hebben hier dus met een grensgeval te maken tussen semi-spanningswater en frentisch water. In het laatste geval is de stroming niet-stationair. Echter ook in het geval van semi-spanningswater zal aan het begin van de pompproef de toestand niet stationair zijn, en mag dus voor de eerste uren zeker de formule van Theis voor niet-stationaire stroming worden toegepast.

Deze formule luidt:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi kD} \int_{\frac{r^2 S}{4kDt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

- 7 -

waarin:

- $h_o - h$  de potentiaaldaling in m  
 $Q$  de putopbrengst in  $m^3/dag$   
 $kD$  de doorlatendheid in  $m^2/dag$   
 $r$  de afstand van de pompput tot de beschouwde waarnemingsput  
 $t$  de tijd in dagen, verlopen sinds het starten van de pomp  
 $S$  de storage coëfficiënt  
 $u = \frac{r^2 S}{4kDt}$

In figuur 10 is de grafische voorstelling van deze integraal voor de waarnemingsputten op 22 m en op 198 m afstand van de pompput gegeven.

Hiertoe zijn de potentiaaldalingen per waarnemingsput op dubbel logaritmisch papier uitgezet tegen het quotiënt  $\frac{r^2}{t}$ .

Evenals bij de methode van De Glee zijn de op deze manier verkregen curven zoveel mogelijk passend gelegd op type-curve van de functie:

$$\int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} \cdot du$$

De hierbij optredende verschuiving van het assenstelsel levert de waarden  $\frac{Q}{4\pi kD}$  en  $\frac{4kD}{S}$  op.

Resultaten:

M174/ 22 m:

$$\frac{Q}{4\pi kD} = 2200 \quad \rightarrow \quad \underline{kD = 3900 \text{ m}^2/dag}$$

M174/198 m:

$$\frac{Q}{2\pi kD} = 10^{-2} \quad \rightarrow \quad \underline{kD = 8000 \text{ m}^2/dag}$$



Methode van Thiem

Op dezelfde manier als voor pompproef M168 is hier de formule van Thiem toe te passen:

$$Q - Q_1 = 2\pi kD \frac{h_1 - h_2}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

Dit geeft voor de waarnemingsputten, op 22 m en 66 m afstand van de pompput:

$$\underline{kD = 3200 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

22 m en 198 m:

$$\underline{kD = 3900 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

66 m en 198 m:

$$\underline{kD = 5000 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

Overzicht van de uitkomsten van pompproef M174:

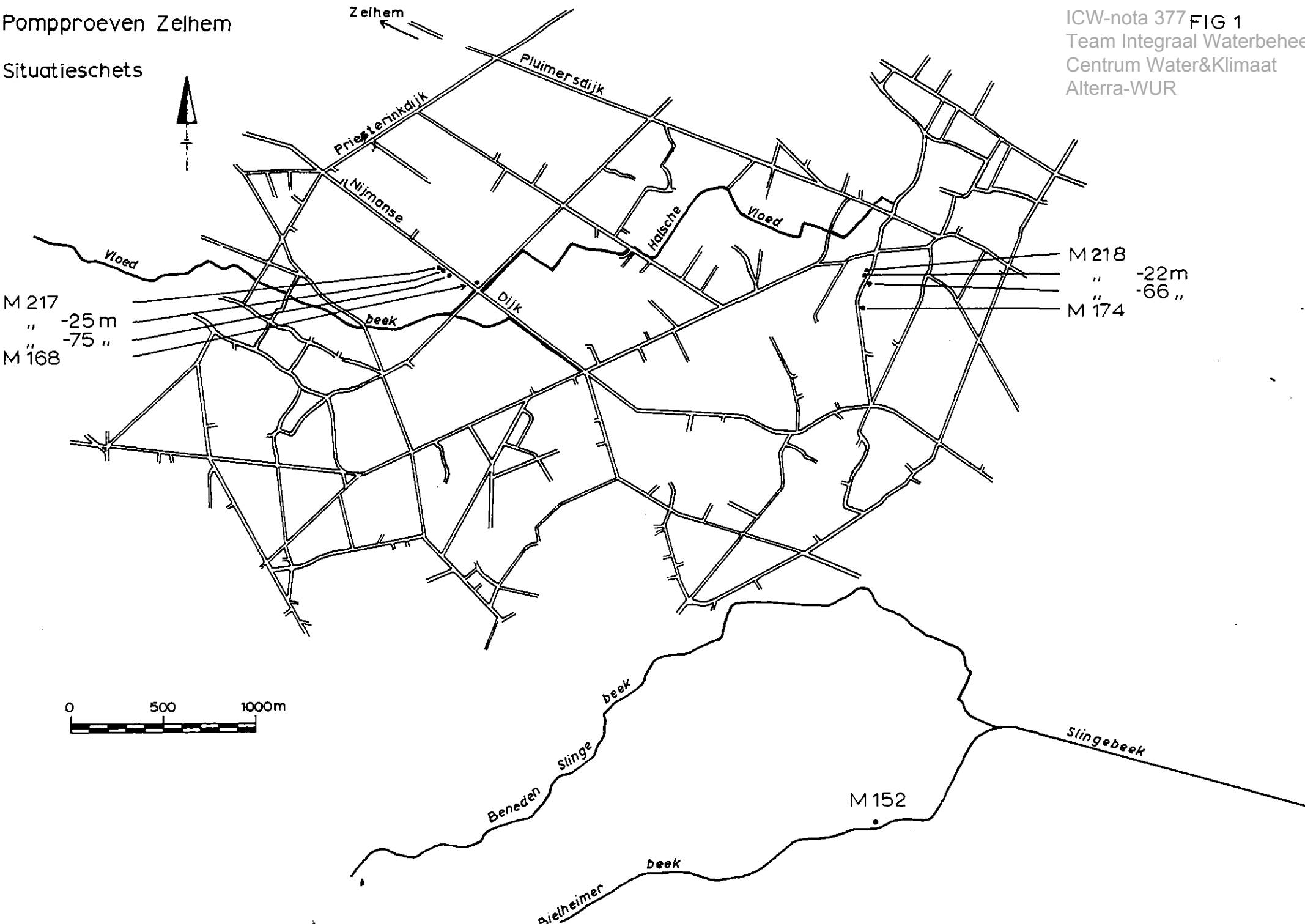
De Glee: 3800 m<sup>2</sup>/dag  
 Theis : 3900 m<sup>2</sup>/dag en 8000 m<sup>2</sup>/dag  
 Thiem : 3900 m<sup>2</sup>/dag, 3200 m<sup>2</sup>/dag en 5000 m<sup>2</sup>/dag

Dit levert evenals voor pompproef M168, een gemiddelde kD-waarde op van ongeveer 4500 m<sup>2</sup>/dag.

=====

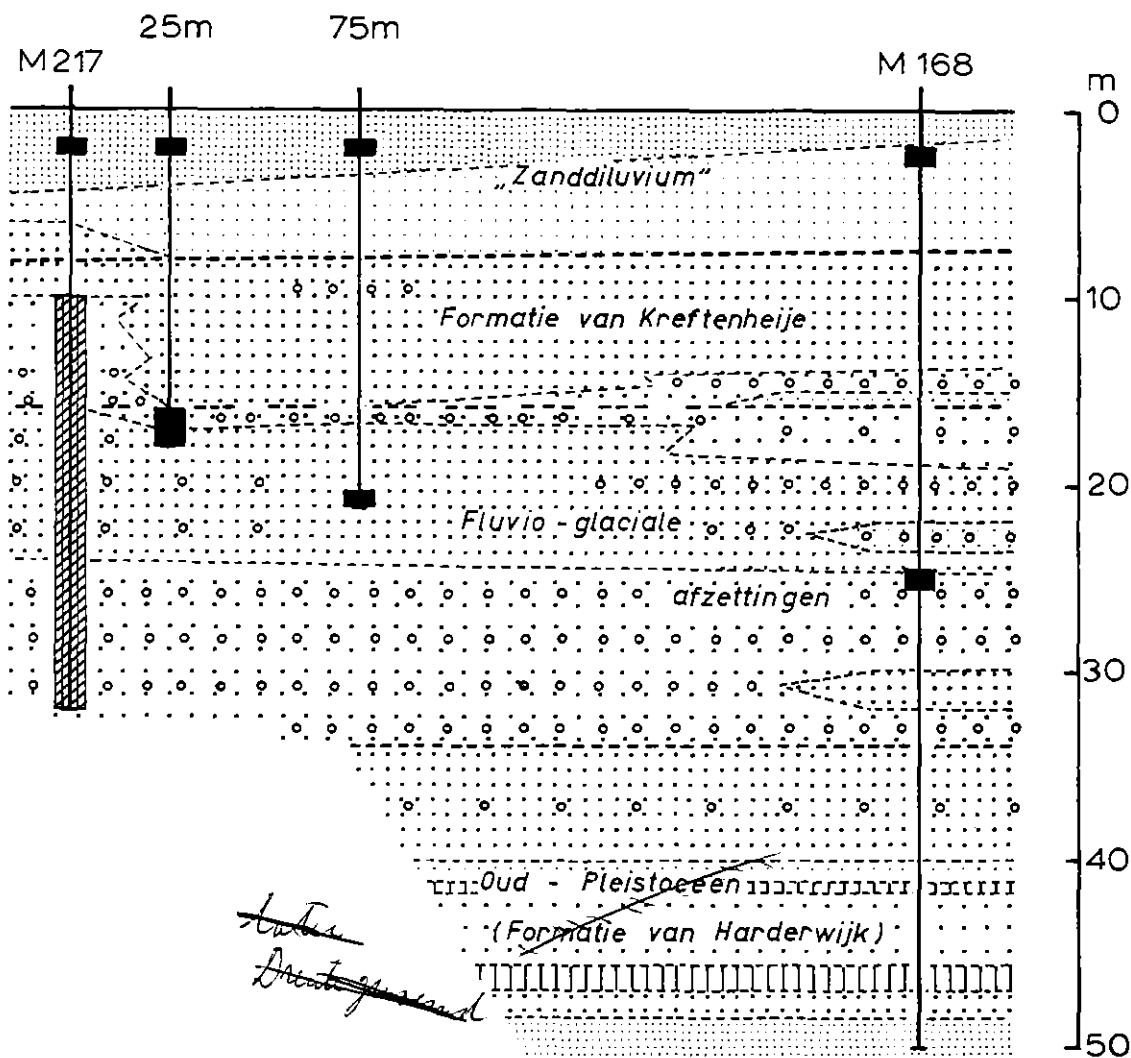
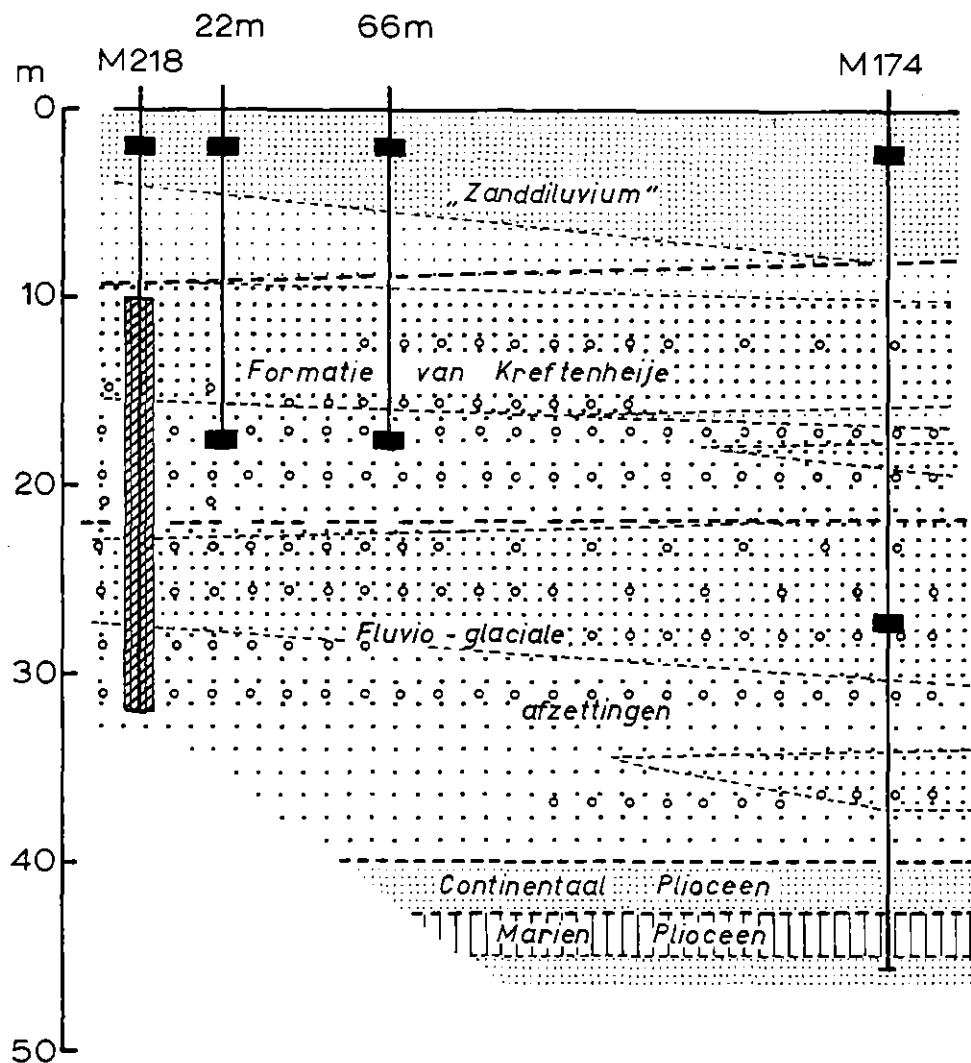
Pompproeven Zelhem  
Situatieschets

ICW-nota 377 FIG 1  
Team Integraal Waterbeheer  
Centrum Water&Klimaat  
Alterra-WUR



Pompproeven Zelhem  
Litho-stratigrafische profielen

ICW-nota 37 FIG 2  
Team Integraal Waterbeheer  
Centrum Water&Klimaat  
Alterra-WUR



0 20 40 60m

■ waarnemingsfilter

▨ pompfilter

zand > U 80

zand " U 50-80

zand U 30-50

zand " < U 30

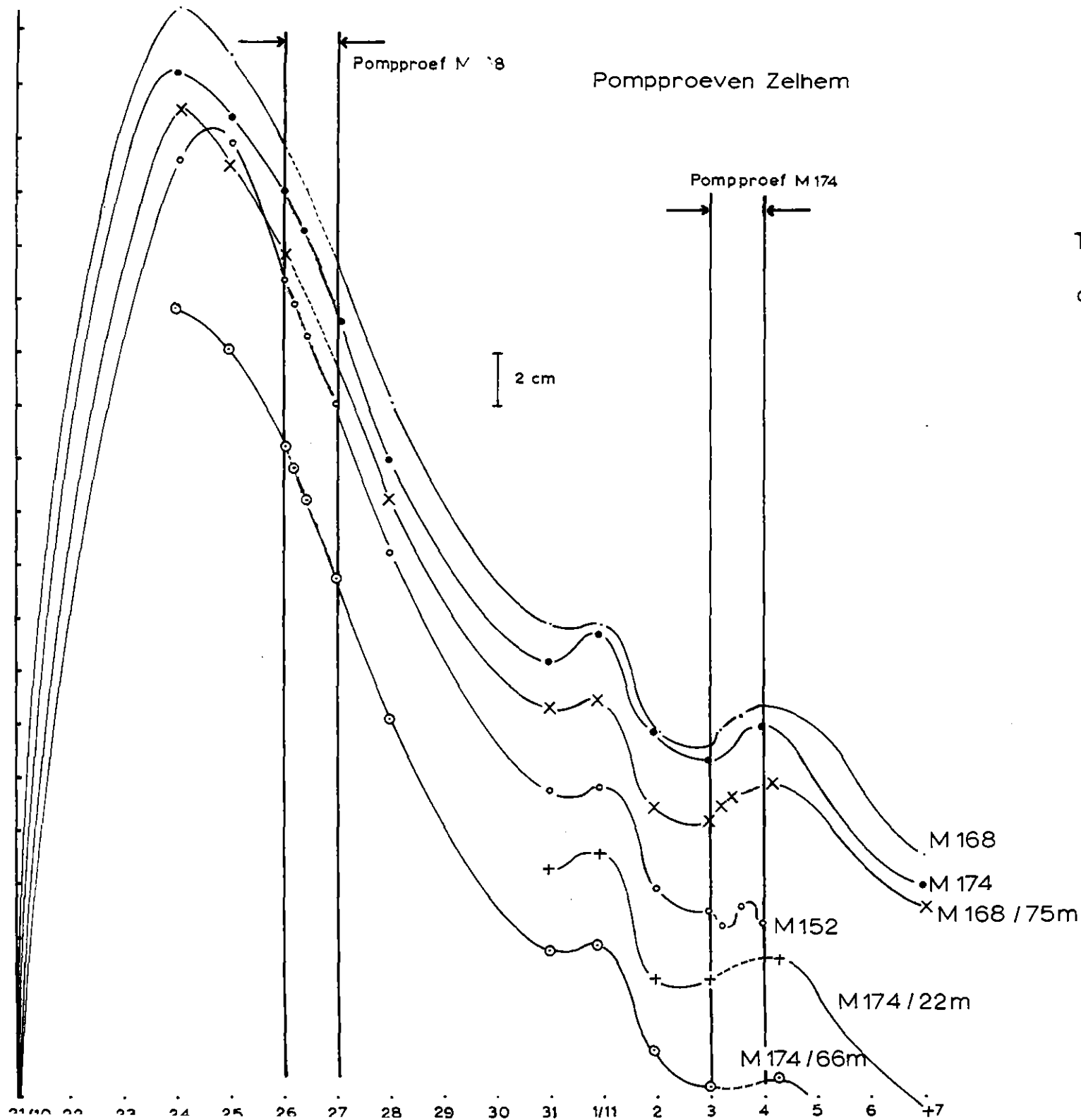
grind

leem

FIG 3

Pompproeven Zelhem

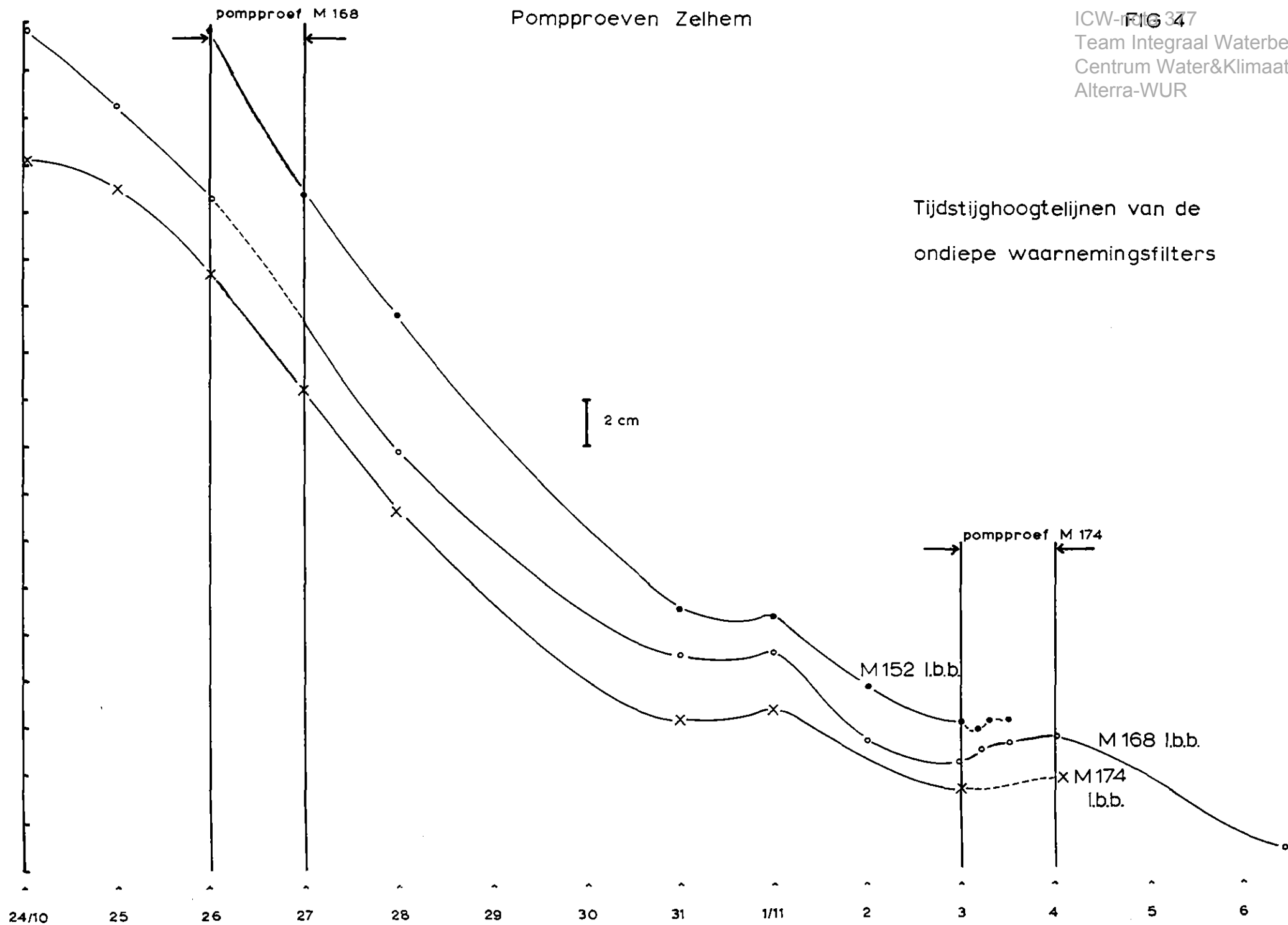
Tijdstijghoogtelijnen van de  
 diepe waarnemingsfilters



# Pompproeven Zelhem

ICW-rpt 377  
 Team Integraal Waterbeheer  
 Centrum Water&Klimaat  
 Alterra-WUR

Tijdstijghoogtelijnen van de  
 ondiepe waarnemingsfilters



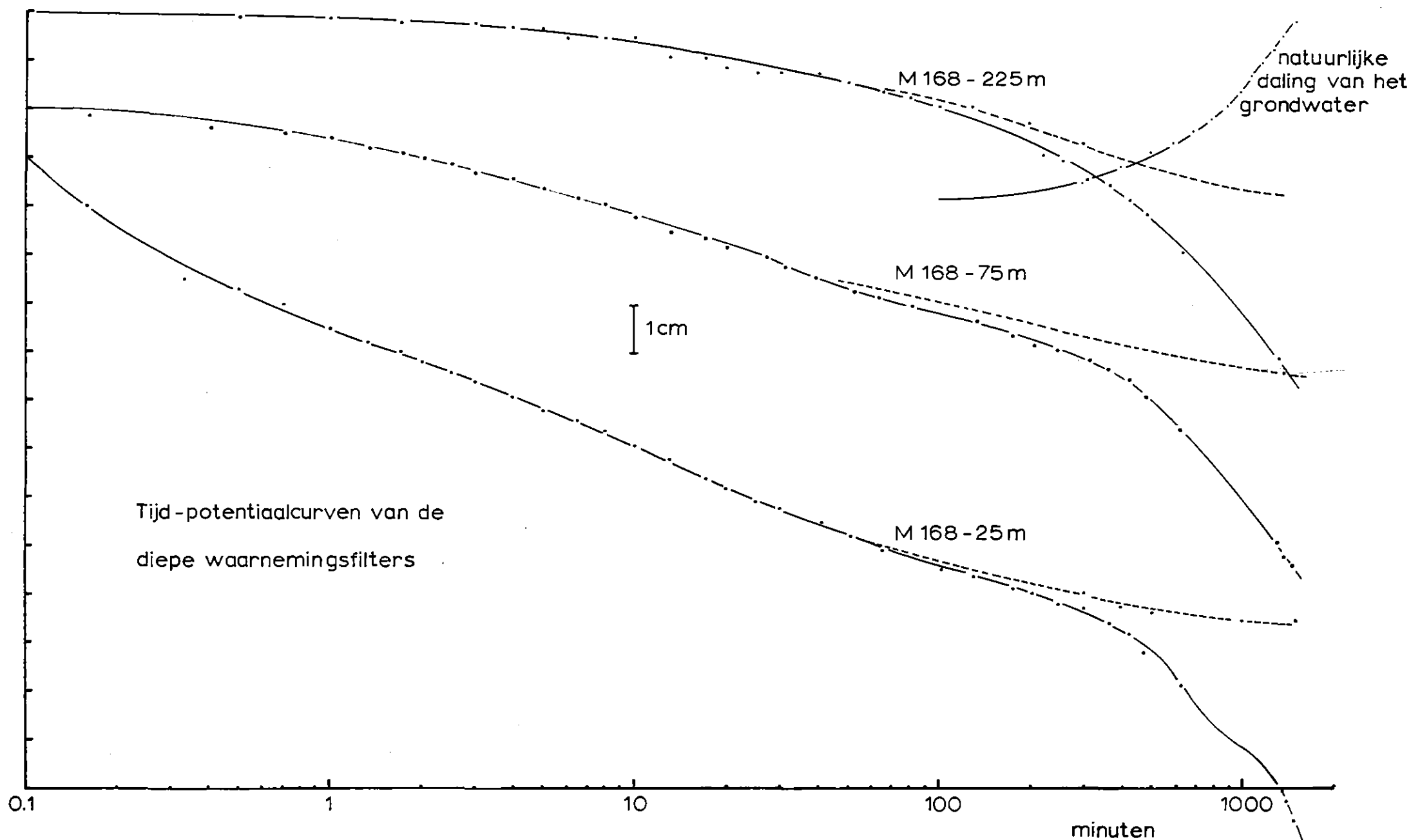
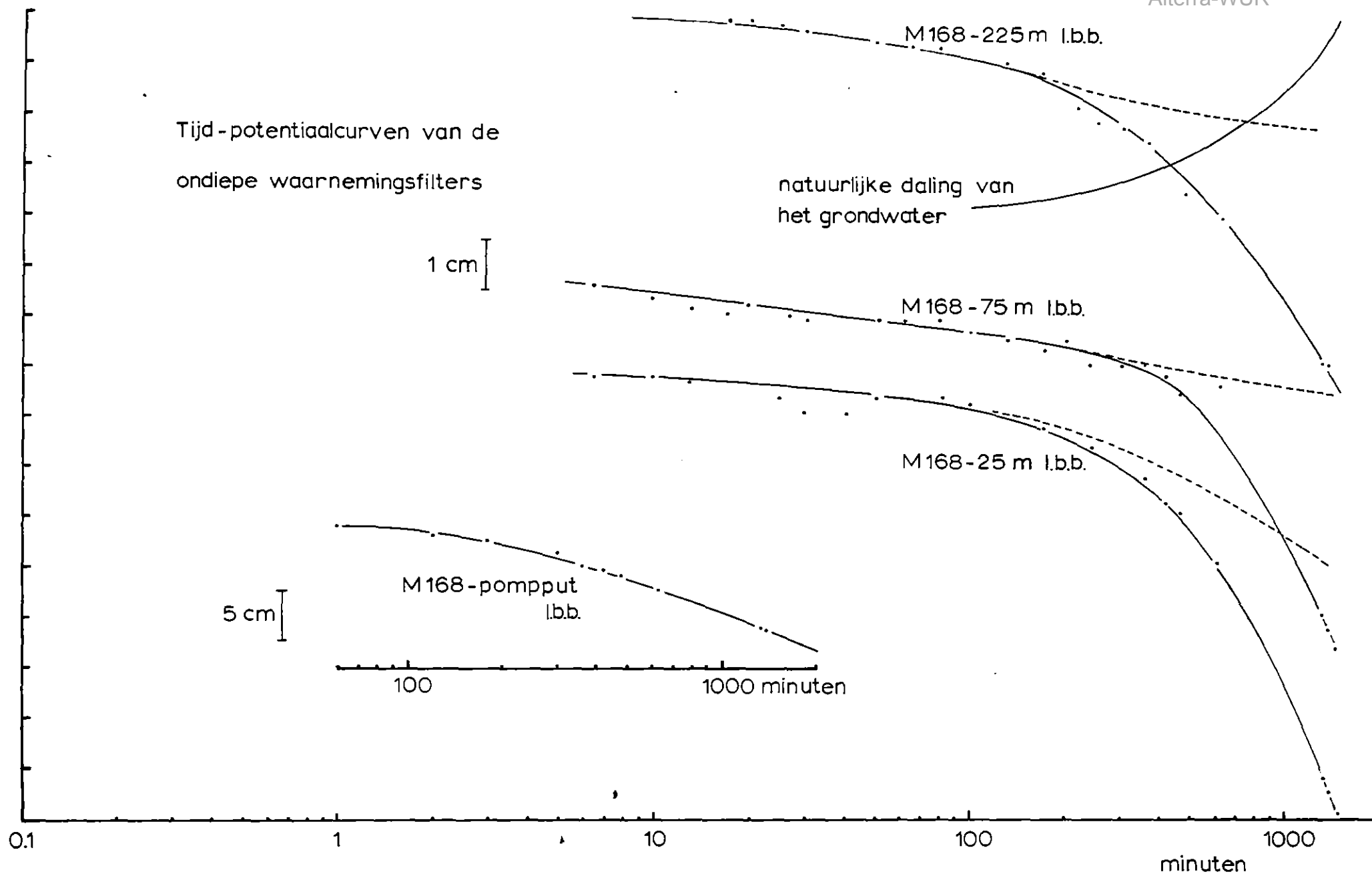
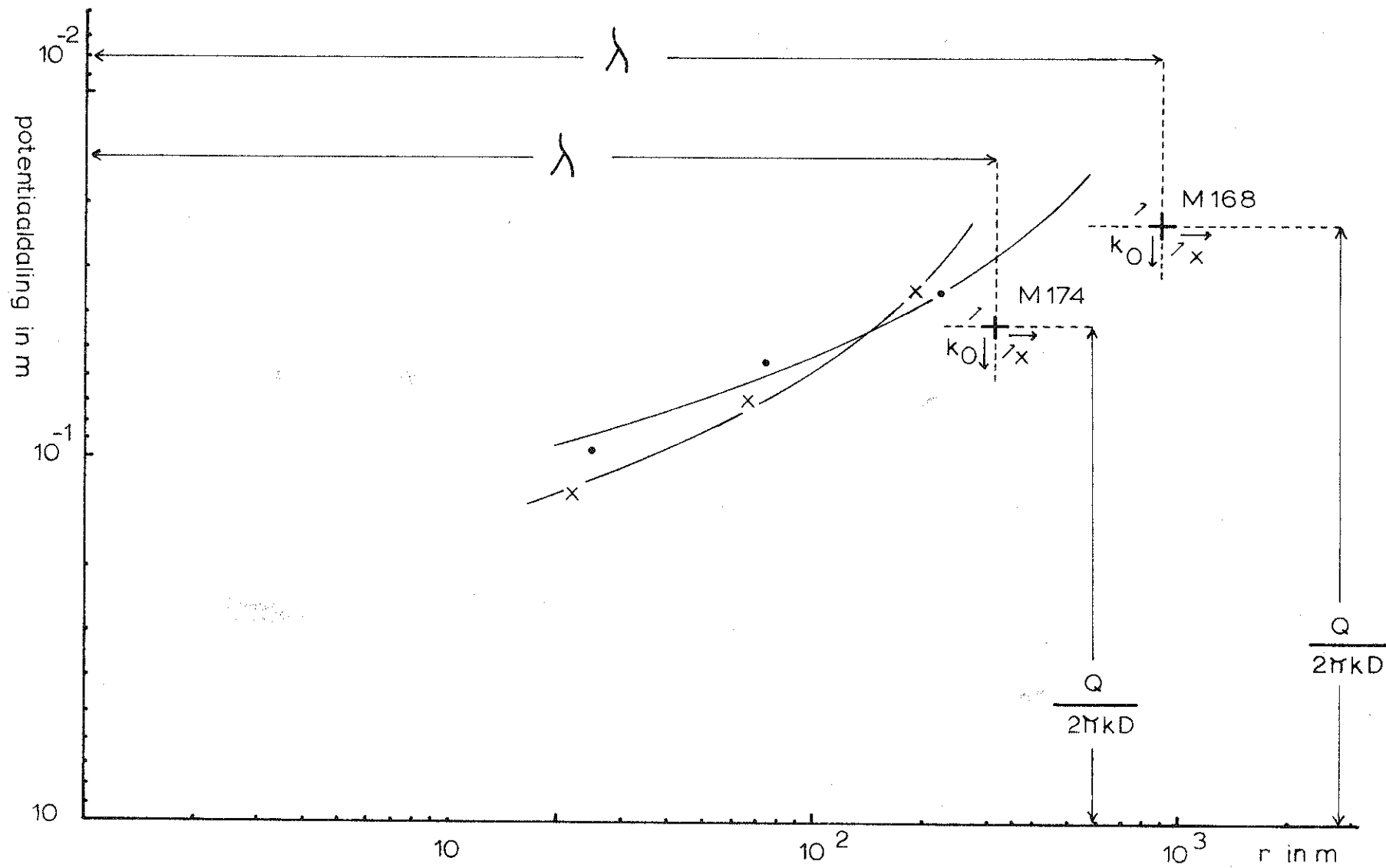


FIG 6







Pompproeven Zelhem

FIG. 8

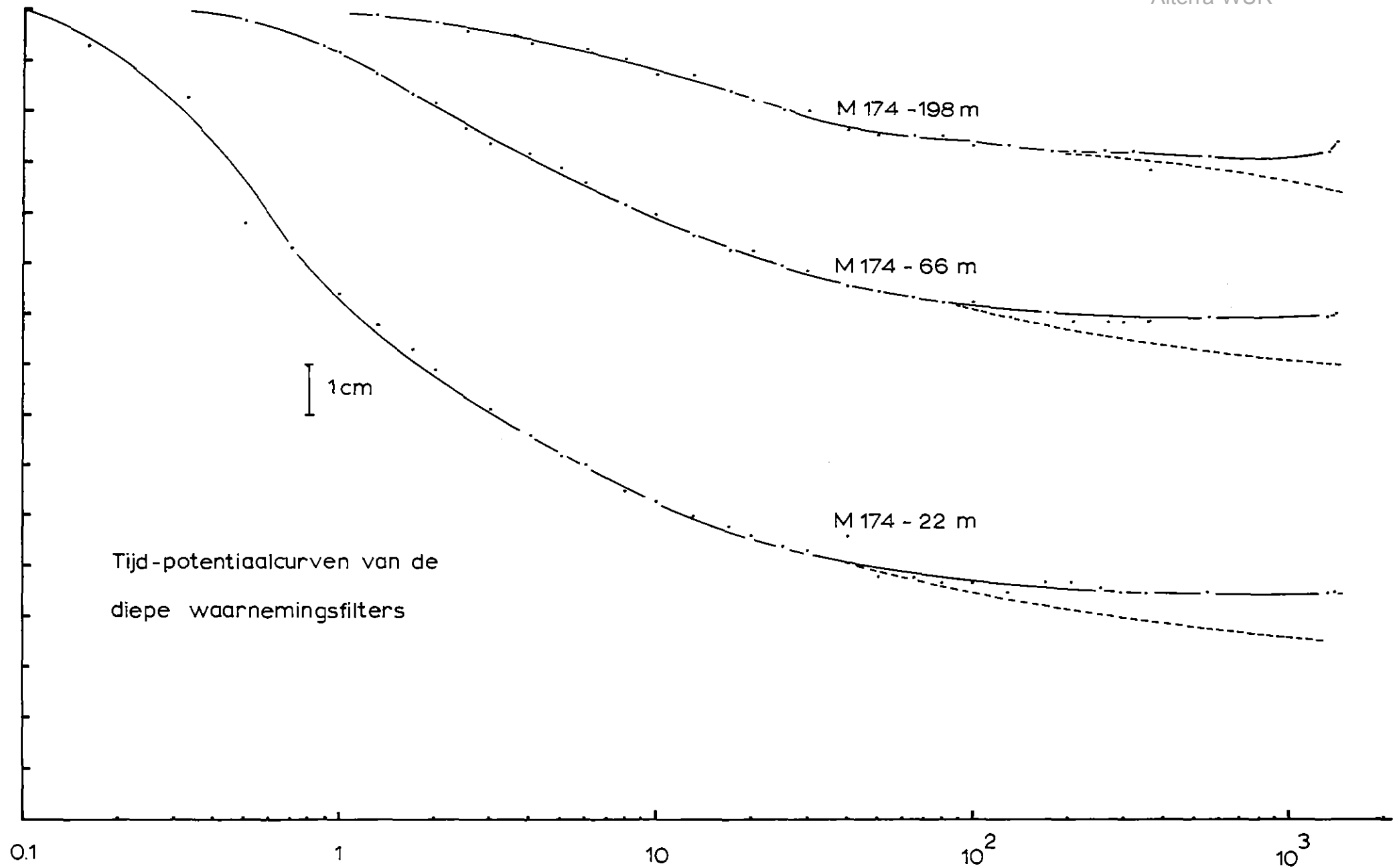


FIG 9

